

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-201898
 (43)Date of publication of application : 10.08.1990

(51)Int.CI.

H05H 7/04
 // G21K 1/093
 H01F 7/20
 H05H 13/04

(21)Application number : 01-019697
 (22)Date of filing : 31.01.1989

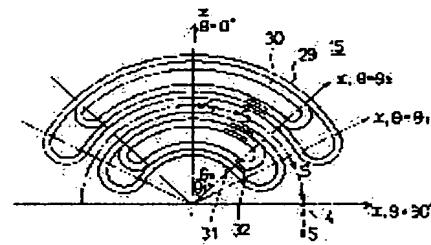
(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP
 (72)Inventor : MATSUDA TETSUYA

(54) DEFLECTING ELECTROMAGNET FOR CHARGED PARTICLE APPARATUS

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a uniform magnetic field distribution in a vast area in the S direction by dividing a wound wide of a shim coil into a plurality so as to make a distribution in a beam proceeding direction (S direction distribution) of an output magnetic field (n-polar components) of an n-polar shim coil almost the same as the S direction distribution of n-polar components among error magnetic field components generated by a main coil.

CONSTITUTION: A wound wire of a quadrupole (n-polar) shim coil 15 which forms a deflecting electromagnet is divided and the open angles of the inside shim coil wound wires 30, 32 among the divided coils are set to be $\hat{\epsilon}2$. Thus, within a range of $\hat{\epsilon}=0^\circ - \hat{\epsilon}2$, a total electric current of the outside shim coil wound wires 29, 31 and the inside shim coil wound wires 30, 32 runs as a shim coil current, but in the case of a range of $\hat{\epsilon}=\hat{\epsilon}2 - \hat{\epsilon}1$, electric current of only coils 29, 31 runs as the shim coil current. That is in the case of $\hat{\epsilon}=\hat{\epsilon}2 - \hat{\epsilon}1$, the primary components become weak as compared to those in the case of $\hat{\epsilon}=0^\circ - \hat{\epsilon}2$. Like this, the distribution of primary components in S direction of each of the shim coil and a main coil agrees each other by either adjusting the current ratio to the inside coils and the outside coils, or adjusting the open angle $\hat{\epsilon}2$, or making the number of division 3.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

⑫ 公開特許公報 (A) 平2-201898

⑬ Int.Cl.
 H 05 H 7/04
 // G 21 K 1/093
 H 01 F 7/20
 H 05 H 13/04

識別記号 8805-2G
 D 8805-2G
 F 6447-5E
 A 8805-2G

⑭ 公開 平成2年(1990)8月10日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全8頁)

⑮ 発明の名称 荷電粒子装置用偏向電磁石

⑯ 特 願 平1-19697
 ⑰ 出 願 平1(1989)1月31日

⑮ 発明者 松田 哲也 兵庫県尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機株式会社
 中央研究所内

⑯ 出願人 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

⑰ 代理人 弁理士 曾我 道照 外4名

明細書

1. 発明の名称

荷電粒子装置用偏向電磁石

2. 特許請求の範囲

荷電粒子が周回する平衡軌道をはさんで配置された1対の上下主コイルと、この主コイルが発生するn極誤差磁界成分を補正するn極シムコイルとからなる荷電粒子装置用偏向電磁石において、出力磁界のビーム進行方向分布が前記主コイルの発生するn極誤差磁界分布の前記ビーム進行方向分布とほぼ一致するよう、n極シムコイル巻線を複数個に分割し、この分割したシムコイル各巻線の位置、開き角を調整して配置した前記n極シムコイルを備えてなることを特徴とする荷電粒子装置用偏向電磁石。

3. 発明の詳細な説明

[産業上の利用分野]

この発明は、荷電粒子装置用偏向電磁石に関し、特に、主コイルが発生するx方向の誤差磁界の補正手段を備えた荷電粒子装置用偏向電磁石に関する

るものである。

[従来の技術]

第9図は、例えば、日本化學技術情報センター1984年9月発行の、ヨシカズ ミヤハラ (Yoshikazu Miyakura)、コージ タカタ (Koji Takata) およびテツヤ ナカニシ (Tetsuya Nakaniishi)によるISSPの技術報告 (Technical Report of ISSP) No. 21、「シンクロトロン放射のための超電導レーストラック電子蓄積リングおよび共存インジェクタ・マイクロトロン (Superconducting Racetrack Electron Storage Ring and Coexistent Injector Microtron for Synchrotron Radiation)」に記載された従来の荷電粒子装置を示し、図において、(1)は荷電粒子を蓄積する荷電粒子装置としての蓄積リング、矢印(2)は荷電粒子 (例えば電子) を蓄積リング(1)内に導くための入射部ビームラインである。超電導の偏向電磁石(3)は荷電粒子を偏向して平衡軌道(4)を形成するためのものであり、後述する偏向コイルの組合せからなっている。

矢印(5)は荷電粒子を偏向電磁石(3)で偏向する際に発生する放射光を取出すための放射光ビームラインである。この放射光は、シンクロトロン放射光、またはSOR(Synchrotron Orbital Radiation)と呼ばれ、外部に取出されてリングライフなどに利用される。一般に、放射光ビームライン(5)は、装置の利用効率を高めるため、偏向電磁石(3)に沿って多段設けられているが、ここでは各偏向電磁石(3)にそれぞれ1本のみを示し、他は省略している。

四極電磁石(6)は蓄積リング(1)内の荷電粒子を集束させる。六極電磁石(7)は偏向電磁石(3)の非線形磁場またはクロマティシティを補正する。高周波空洞(8)は放射光の放出による荷電粒子のエネルギー損失を補い、所定のエネルギーに加速する。キック(9)は荷電粒子を入射ビームライン(2)から入射させる際に平衡軌道(4)をずらせて入射を助けるためのものである。真空ドーナツ(10)は荷電粒子の通路となる。インフレクタ(11)は荷電粒子を入射部ビームライン(2)

から蓄積リング(1)内に入射させるためのものであり、真空ポンプ(12)は真空ドーナツ(10)内を高真空に保つ。以上の各部分は平衡軌道(4)に沿って配設されている。

なお、真空ドーナツ(10)は機械的強度が高く、かつ、ベーリングが容易なステンレス材で形成されていて、その内部は真空ポンプ(12)により超高真空に保たれていて、荷電粒子が気体分子に衝突してエネルギーを失って寿命が短くなることを防止している。

第10図～第12図は上記の偏向電磁石(3)を示し、第10図において、(13)および(14)は偏向電磁石(3)を形成する1対の超電導の偏向主コイルであり、(12)は上主コイル、(14)は下主コイルで、レースラックコイルを偏向曲率で曲げたバナナ形になっている。なお、上、下主コイル(13)、(14)は高磁力を有しているので、鉄心を用いない空心構造となっている。矢印m₁、m₂は上、下主コイル(13)、(14)にそれぞれ流れる電流の方向、矢印Sは平衡軌道(4)上の電子ビームの進

行方向を示している。

また、第11図および第12図から明らかなように、平衡軌道(4)は、極座標 $R\theta$ ($z=0$)の平面上に半径 ρ_0 の半円と、この半円の前後につながる直線とで示される。 ρ_1 、 ρ_2 は、バナナ形状の上、下主コイル(13)、(14)のそれぞれ内側半径と外側半径である。

さらに、第13図は、主コイル(13)、(14)、主コイルが発生する誤差磁界を補正する四極シムコイル(15)、六極シムコイル(20)の形状を示す概観図である。(16)、(17)は四極シムコイル(15)のうち、内側コイル巻線、(18)、(19)は下側コイル巻線を示す。(21)～(23)は六極シムコイル(20)のうち、上側コイル巻線、(24)～(26)は下側コイル巻線を示す。

第14図は主コイル(13)、(14)に四極シムコイル(15)を組み込んだ図である。六極シムコイルは図が複雑になるため省略した。第14図(a)に示す(27)は主コイル巻線のうち主コイル巻線端部、(28)は四極シムコイル巻線端部を示す。

次に、動作について説明する。入射部ビームライン(2)から蓄積リング(1)内に入射された荷電粒子は、インフレクタ(11)によりパルス的に偏倚され、かつ、キック(9)により軌道がずらされる。従って、荷電粒子は、最初は平衡軌道(4)から少しずれた軌道上を周回し、何周回か後に平衡軌道(4)上を矢印S方向に周回し続けるようになる。この平衡軌道(4)は、平衡電磁石(3)および四極電磁石(6)の配置により決定される。

なお、m₁、m₂方向の電流により上、下主コイル(13)、(14)で発生する主磁場は $-z$ ($-y$)方向となり、平衡軌道(4)に流れる電流は、電子ビーム方向Sとは逆方向となる。従って、上、下主コイル(13)、(14)間を通過する荷電粒子、すなわち電子ビームは、フレミングの左手の法則により $-R$ の方向に電磁力を受け、これにより半径 ρ_0 の曲率で曲げられる。この平衡軌道(4)の半径 ρ_0 は以下の①式で与えられる。

$$\rho_0 = P / (e \cdot B_y) \quad \dots \text{①}$$

ただし、 P ：電子の運動量

e ：電子の電荷

B_y ：上、下主コイル(13)、(14)の y 軸方向における発生磁界

ここで、 y 軸は平衡軌道(4)に関する z 軸と平行な軸であり、 x 軸は平衡軌道(4)に関する極座標の半径 R と同方向の軸である。

一方、高周波空洞(8)は荷電粒子を加速し、六極電磁石(7)は、偏向電磁石(3)の半径方向の磁場の不均一を補正したり、クロマティシティの補正を行う。

こうして平衡軌道(4)に沿って周回する荷電粒子は、偏向電磁石(3)の電界により偏向を受けると、制動放射による電磁波を放射光として、放射光ビームライン(5)から平衡軌道(4)の接線方向に放射される。

ところで、電子ビームは平衡軌道(4)の周囲にベータトロン振動をしているので、一般に、電子ビームの進行方向 S に直交する方向(主として R 方向、すなわち x 軸方向)に関して、中心軌道の

周囲に数cm以上の範囲にわたって $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 程度の均一な磁界分布(良好磁界領域)が必要となる。超電導偏向主コイルでなる上、下主コイル(13)、(14)の磁界分布が不均一の場合、電子ビームの偏向軌道(4)は上、下コイル(13)、(14)の中心からずれるが、このずれ量が所定値より大きくなると、電子ビームが真空ドーナツ(10)に当たり、電子ビームが失われてしまうことになる。この均一な磁界分布はビーム進行方向に対しても必要である。

そこで、均一な磁界分布を得るために、主コイルの作る誤差磁界を補正するためのシムコイルが使用される。第13図のシムコイルにおいて、(15)は四極シムコイルであり、 X (または R)の増加とともに1次に比例して増加する Y 軸方向の磁界を発生する(四極磁界成分とも言う)。(20)は六極シムコイルであり、 X (または R)の増加とともに2次に比例して増加する Y 軸方向の磁界を発生する(六極磁界成分とも言う)。さらに、第14図は、主コイル(3)に四極シムコイル

(15)を組み込んだ図で、主コイル(3)および四極シムコイル(15)の平衡軌道(4)上での1次成分 S 方向分布を θ に関して示した図を第15図に示す(主コイルは誤差磁界成分として1次成分、2次成分・・・等を発生するが1次成分のみ示した)。第15図(a)は主コイル(3)の1次成分の S 方向分布例であり、第15図(b)は四極シムコイル(15)の1次成分 S 方向分布であり、第15図(c)は四極シムコイル補正後の主コイル(3)の1次成分 S 方向分布、さらに第15図(d)は他形状主コイルの1次成分 S 方向分布である。第15図(b)の例では、 $\theta = 0^\circ$ において、主コイル(3)と四極シムコイル(15)の1次成分が同じ値をもつよう、四極シムコイル(15)の電流値を決定した。第15図(a)に示す主コイルの1次成分 S 方向分布では、 $\theta = 0^\circ$ 近傍では一定の1次成分をもつが、 θ が 0° に近づくと主コイル端部(27)が作る磁界による1次成分が加わり、 $\theta = 0^\circ$ での1次成分とは異なる値をもつ。第15図(a)の例では $\theta = 0^\circ$ 近傍では1次成

分が減少している。同様に四極シムコイル(15)の1次成分も $\theta = 0^\circ$ 付近では一定であるが、 $\theta = 0^\circ$ 近傍では四極シムコイル端部(28)が作る磁界による1次成分が加わり、 $\theta = 0^\circ$ での1次成分とは異なる値をもつ。一般に、四極シムコイル(15)の端部(28)近傍の1次成分 S 方向分布は、主コイル(3)の1次成分 S 方向分布とは異なる。実際の補正では、第15図(b)に示す四極シムコイルの電流値とは逆符号の電流値を四極シムコイル(15)に通電する。この操作により、 $\theta = 0^\circ$ では、主コイルの作る1次成分とは絶対値が同じで逆符号の1次成分が加わり、1次成分は零になる。ところが、 $\theta = 0^\circ$ 近傍では四極シムコイル(15)と主コイル(3)の1次成分の大きさに差があるため、1次成分は零ではなくなる。第15図(c)は四極シムコイル(15)による補正後の1次成分 S 方向分布を示し、 $\theta = 0^\circ$ では1次成分は零であるが、 $\theta = 0^\circ$ 近傍では1次成分が生じていることがわかる。第15図(d)は別の形状の主コイルの1次成分 S 方向分布で、第15図(a)

の例とは異なり、 $\theta = \theta_1$ 近傍で 1 次成分が増加している。

【発明が解決しようとする課題】

従来の荷電粒子装置用偏倚電磁石は以上のように構成されているので、主コイル端部近傍に大きな誤差磁界成分が発生するという問題点があった。

この発明は上記のような問題点を解消するためになされたもので、主コイル端部近傍においても均一な磁界分布を発生することができる荷電粒子装置用偏倚電磁石を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

この発明に係る荷電粒子装置用偏倚電磁石は、n 極シムコイルの出力磁界 (n 極成分) のビーム進行方向分布 (S 方向分布) が、主コイルの発生する誤差磁界成分のうち n 極成分の S 方向分布とほぼ同じになるよう、シムコイル巻線を複数個に分割し、分割されたシムコイルの各巻線の位置、開き角を調節して配置したものである。

【作用】

この発明においては、n 極シムコイルの出力磁

界のビーム進行方向分布が、主コイルの発生する n 極誤差磁界分布のビーム進行方向分布と一致しているため、ある点 1 点 (例えば $\theta = 0^\circ$) で主コイルの n 極誤差磁界成分を補正すれば、 $\theta = 0^\circ$ から $\theta = \theta_1$ にまで至る広い S 方向の範囲に対し、n 極誤差磁界成分を補正することができる。

【実施例】

以下、この発明の一実施例を図について説明する。第 1 図において、(15) は巻線を複数個に分割した四極シムコイルであり (本例では 2 分割の例について示した)、(29)～(32) は分割された各シムコイル巻線である。四極シムコイル (15) は主コイルに付設される。第 5 図 (a) は主コイル 1 次成分 S 方向分布、第 5 図 (b) はこの実施例による四極シムコイル 1 次成分 S 方向分布、第 5 図 (c) は補正後の主コイル 1 次成分 S 方向分布である。

次に動作について説明する。第 5 図 (a) に示すように、従来装置同様の主コイルの 1 次磁界成分は $\theta = \theta_1$ から減少し始める。第 5 図 (b)

に示した従来の四極シムコイルの 1 次磁界成分の S 方向分布においては、 $\theta = \theta_1$ まで均一な磁界を発生するため、主コイル 1 次成分を $\theta = 0^\circ$ で打ち消した場合、 $\theta = \theta_1 \sim \theta_2$ の範囲に打ち消されない 1 次成分が残る。この問題は以下の方法により解決できる。第 1 図に示すシムコイルでは、シムコイルを分割し、分割されたシムコイルのうち内側シムコイル巻線 (30)、(32) の開き角を θ_1 に設定している。従って、 $\theta = 0^\circ \sim \theta_1$ の範囲ではシムコイル電流として外側巻線 (29)、(31) と内側巻線 (30)、(32) の合計の電流が流れれるが、 $\theta = \theta_1 \sim \theta_2$ の範囲では、外側シムコイル (29)、(31) の巻線の電流しかシムコイル電流が流れない。つまり、 $\theta = \theta_1 \sim \theta_2$ の範囲では $\theta = 0^\circ \sim \theta_2$ の範囲の 1 次成分に比べて弱くなる。内側シムコイルと外側シムコイルの電流比を調整する、内側シムコイルの開き角 θ_1 を調整する、さらには分割数を 3 分割以上にする等により、四極シムコイル 1 次成分 S 方向分布を、主コイル 1 次成分 S 方向分布に一致させることが可能である。この様子を示

したのが第 5 図 (b) である。第 5 図 (b) に示す 1 次成分 S 方向分布とは絶対値が同じで逆符号の 1 次成分を主コイルに加えることにより、主コイルの 1 次成分の補正が可能である。補正後の主コイル 1 次成分 S 方向分布を第 5 図 (c) に示す。 $\theta = 0^\circ \sim \theta_2$ の範囲で 1 次成分が零であることがわかる。

なお、上記実施例では主コイルの 1 次磁界成分の S 方向分布が $\theta = \theta_1 \sim \theta_2$ の範囲で減少している場合について示したが、主コイル 1 次成分 S 方向分布が、第 5 図 (d) に示したように、 $\theta = \theta_1 \sim \theta_2$ の範囲で増加している場合には、第 2 図に他の実施例として示すように、内側シムコイル (33)～(36) を $\theta = \theta_1 \sim \theta_2$ の範囲に設置すれば良い。この場合、 $\theta = \theta_1 \sim \theta_2$ の範囲でシムコイル電流が増加するため、 $\theta = \theta_1 \sim \theta_2$ の範囲で 1 次成分が強くなり、1 次成分 S 方向分布は第 6 図に示すようになる。

また、主コイルの 1 次成分が $\theta = 0^\circ \sim \theta_1$ の中間近傍で増加 (または減少) している場合には、

第3図にさらに他の実施例として示すように、1次成分が増加（または減少）している位置付近に内側シムコイルを設置すればよい。すなわち、内側シムコイル(31)～(40)を $\theta = \theta_1 \sim \theta_2$ の範囲に設置している。外側シムコイル(29), (31)と内側シムコイル(31)～(40)の電流方向が互いに同じであれば、第7図(a)に示すように、 $\theta = \theta_1 \sim \theta_2$ の範囲で1次成分が強くなる。一方、外側シムコイル(29), (31)と内側シムコイル(31)～(40)の電流が互いに逆向きであれば、第7図(b)に示すように、 $\theta = \theta_1 \sim \theta_2$ の範囲で1次成分が弱くなる。

さらに、主コイルの1次成分が $\theta = 0^\circ \sim \theta_1$ の範囲で逆転している場合には、四極シムコイルを、別の実施例として第4図に示すように、S方向に開して分割し、分割した四極シムコイルの各導流方向を逆転させる。四極シムコイル(41), (42), (45), (46)の電流方向はS方向に開し逆転している。この方法による1次成分のS方向分布を第8図に示す。

なお、上記実施例では四極シムコイルの分割数が2の場合の例について示したが、分割数は2以上でも良い。また、四極シムコイルの例について示したが、六極シムコイル等、他のシムコイルにおいても同様の効果を奏する。

[発明の効果]

以上のように、この発明によれば、n極シムコイルの出力磁界S方向分布と主コイルの発生する誤差n極成分のS方向分布がほぼ一致するよう、シムコイル巻線を分割して分散配置したため、広いS方向の範囲にわたって均一な磁界分布が得られる効果がある。

4. 図面の簡単な説明

第1図～第4図はそれぞれこの発明の実施例の要部概略平面図、第5図～第8図はこれら実施例の磁界分布特性線図、第9図～第15図は従来の技術に関するもので、第9図は荷電粒子装置の概略平面図、第10図～第12図は偏向電磁石のそれぞれ斜視図、平面図および正面図、第13図はシムコイルを含む偏向電磁石を分解して示した斜

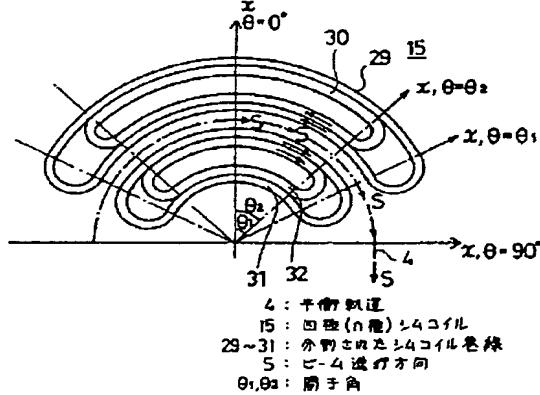
視図、第14図は第13図のものの(a)組立平面図と(b)B-B断面図、第15図は磁界分布特性線図である。

(3)…偏向電磁石、(4)…平衡軌道、(13)…主コイル、(15)…四極(n極)シムコイル、S…ビーム進行方向、(29)～(46)…分割されたシムコイル巻線、 θ …開き角。

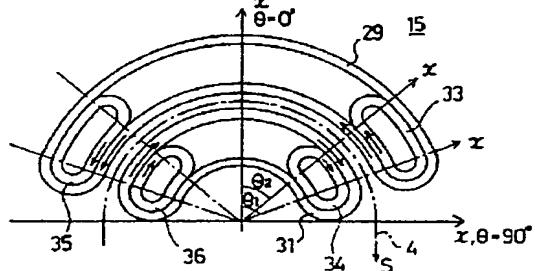
なお、各図中、同一符号は同一又は相当部分を示す。

代理人 曽我道照

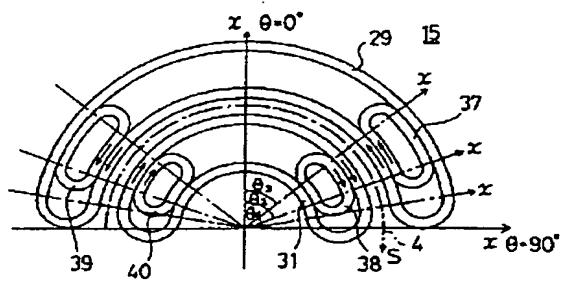
第1図



第2図



第3回



第4回

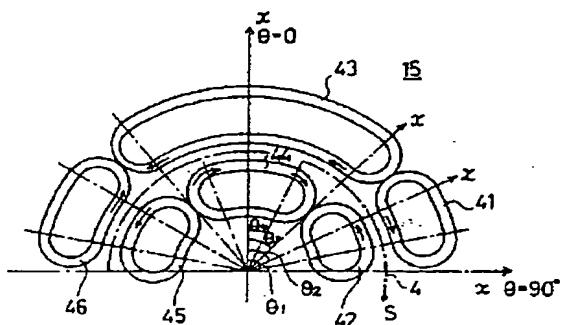
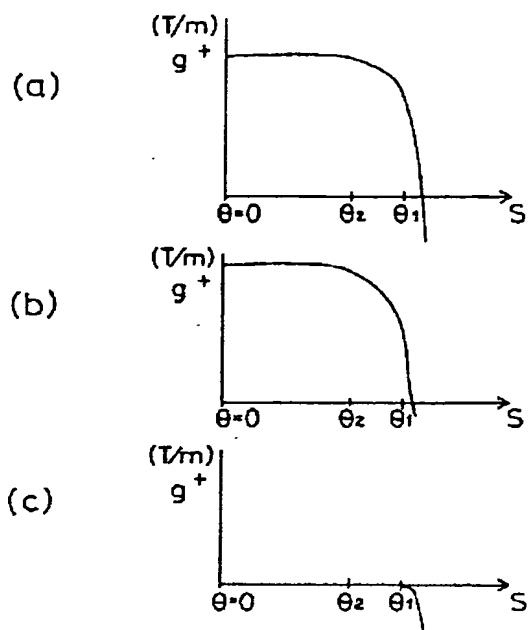


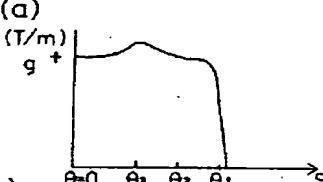
圖 5 例



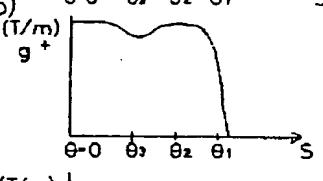
第6回



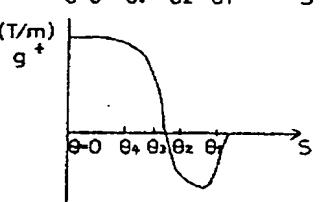
第7圖



第7回(上)

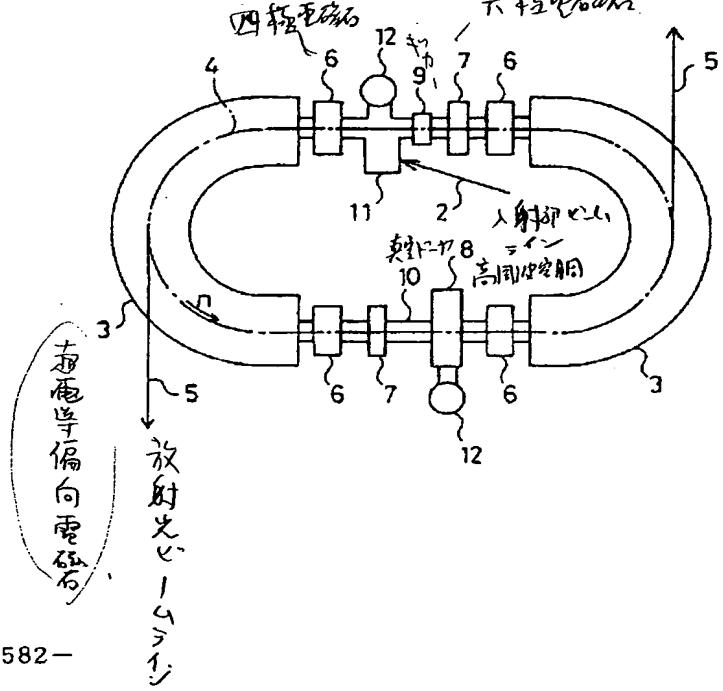


第8圖

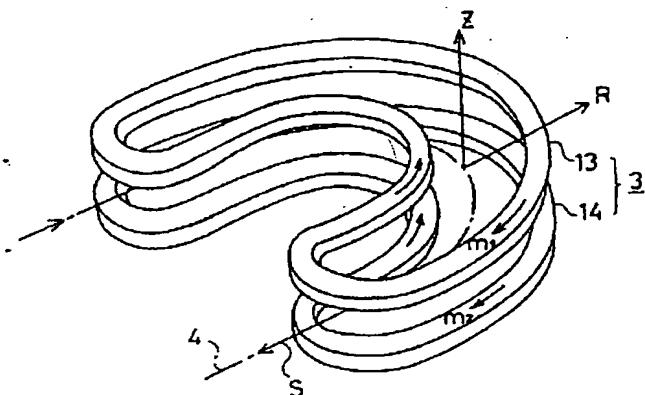


卷 9 四

卷之二

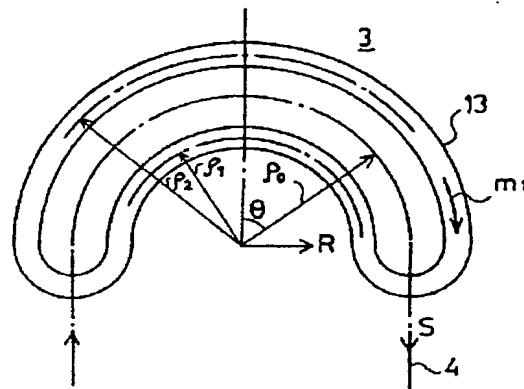


第10図

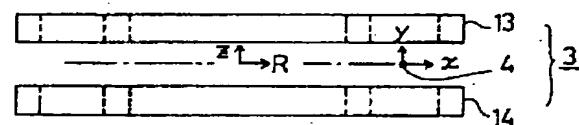


3: 痛向電磁石
13,14: 主コイル

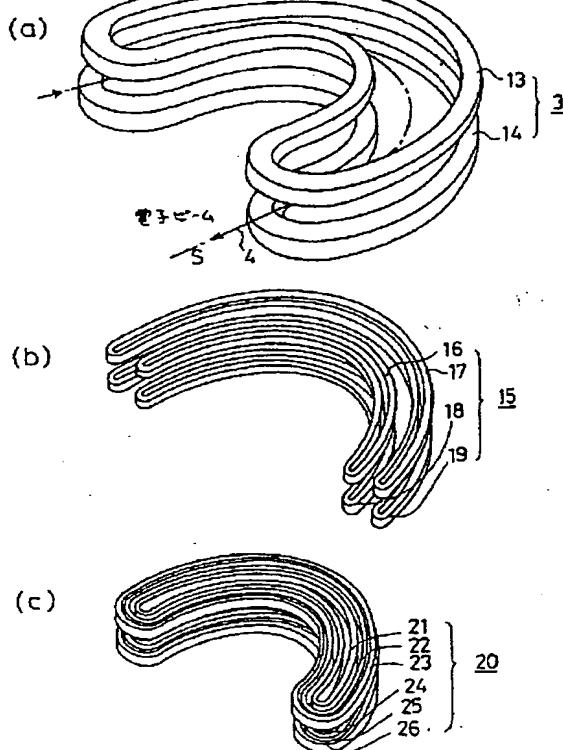
第11図



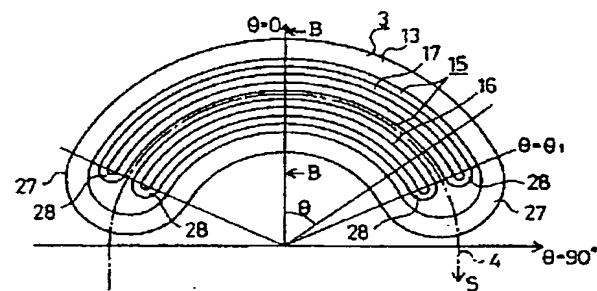
第12図



第13図



第14図(a)



(b)

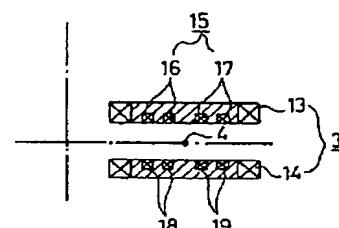
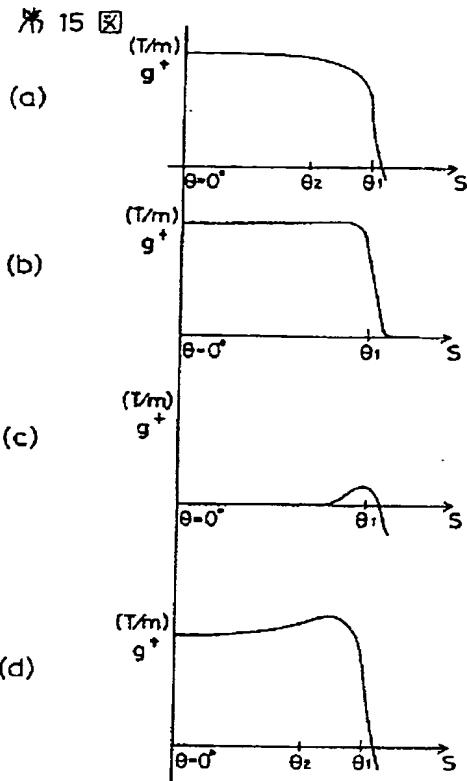


図 15



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第1区分

【発行日】平成9年(1997)1月10日

【公開番号】特開平2-201898

【公開日】平成2年(1990)8月10日

【年通号数】公開特許公報2-2019

【出願番号】特願平1-19697

【国際特許分類第6版】

H05H 7/04

// G21K 1/093

H01F 7/20

H05H 13/04

【F I】

H05H 7/04 9216-2G

G21K 1/093 D 9216-2G

H01F 7/20 F 7135-5E

H05H 13/04 A 9216-2G

手 緯 补 正 書

日

平成 7年12月2

特許庁長官 殿

1. 事件の表示

平成1年特許願第19697号

2. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

名称 (601) 三菱電機株式会社

3. 代理人 №100

住所 東京都千代田区丸の内三丁目1番1号

国際ビルディング8階

電話・東京(3216)5811【代表】

氏名 (5787) 弁理士 貞 我 道 駒

4. 補正の対象

(1) 明細書の発明の詳細な説明の欄

5. 補正の内容

(1) 明細書第4頁17行の「高磁力」を「高起磁力」と補正する。

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.